

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

**NITROGEN-III GROUP SEMICONDUCTOR LUMINOUS ELEMENT AND MANUFACTURE THEREOF**

Patent Number: JP6151968  
Publication date: 1994-05-31  
Inventor(s): MANABE KATSUhide; others: 05  
Applicant(s): TOYODA GOSEI CO LTD; others: 02  
Requested Patent: ☐ JP6151968  
Application Number: JP19920316597 19921029  
Priority Number(s):  
IPC Classification: H01L33/00  
EC Classification:  
Equivalents: JP2681733B2

**Abstract**

**PURPOSE:** To improve the luminance and life of a nitrogen-III compound semiconductor light emitting diode.  
**CONSTITUTION:** A 500Å AlN buffer layer 2, high carrier concentration n<sup>+</sup>-layer 3, approx. 2.2µm in film thickness and  $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  in electron density, made of silicon-doped GaN, low carrier concentration n-layer 4, approx. 1.5µm and  $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ , made of non-doped GaN, low carrier concentration p-layer 51, approx. 0.5µm and  $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3$  in hole density, made of Mg-doped GaN, and high carrier concentration p<sup>+</sup>-layer 52, approx. 0.2µm and  $2 \times 10^{17} / \text{cm}^3$  in hole density, are formed on a sapphire substrate 1 in this order. Nickel electrodes 7 and 8 are formed on the high carrier concentration p<sup>+</sup>-layer 52 and high carrier concentration n<sup>+</sup> 3, respectively. The nickel electrode 7 lowers the drive voltage.

Data supplied from the esp@cenet database - 12

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開 号

特開平6-151968

(43)公開日 平成6年(1994)5月31日

(51)Int.Cl.<sup>8</sup>

H 0 1 L 33/00

識別記号

庁内整理番号

FI

技術表示箇所

C 7376-4M

E 7376-4M

審査請求 未請求 請求項の数3(全7頁)

(21)出願番号 特願平4-316597

(22)出願日 平成4年(1992)10月29日

(71)出願人 000241463

豊田合成株式会社

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1番地

(71)出願人 591014949

赤崎 勇

愛知県名古屋市西区淨心1丁目1番38-805

(71)出願人 591014950

天野 浩

愛知県名古屋市名東区神丘町2丁目21 虹ヶ丘東団地19号楼103号室

(74)代理人 弁理士 藤谷 修

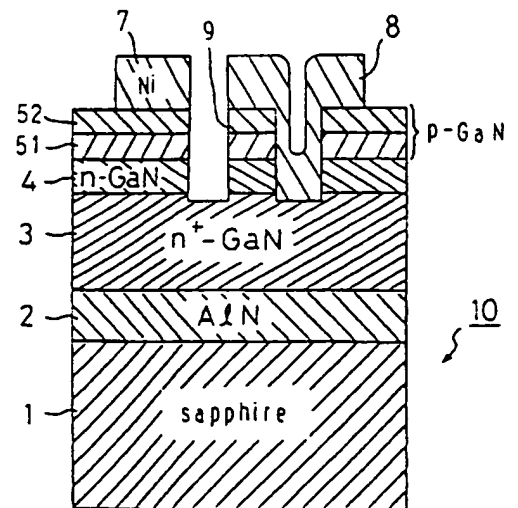
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 窒素-3属元素化合物半導体発光素子

(57)【要約】

【目的】窒素-3属元素化合物半導体発光ダイオードにおける発光輝度及び素子寿命の向上

【構成】サファイア基板1に、順に、500 ÅのAlNのパッファ層2、膜厚約2.2 μm、電子濃度 $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のシリコンドープGaNから成る高キャリア濃度n<sup>+</sup>層3、膜厚約1.5 μm、電子濃度 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ の無添加GaNから成る低キャリア濃度n層4、膜厚約0.5 μm、正孔濃度 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のMg添加GaNから成る低キャリア濃度p層5 1、膜厚約0.2 μm、正孔濃度 $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ の高キャリア濃度p<sup>+</sup>層5 2が形成されている。高キャリア濃度p<sup>+</sup>層5 2及び高キャリア濃度n<sup>+</sup>層3に対してニッケル電極7及び8が形成されている。ニッケル電極7により駆動電圧が低下した。



R006726

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 n型の窒素-3属元素化合物半導体( $Al_xGa_{1-x}In_{1-x-v}N$ ;  $x=0, Y=0, X=Y=0$ を含む)からなるn層と、p型の窒素-3属元素化合物半導体( $Al_xGa_{1-x}In_{1-x-v}N$ ;  $x=0, Y=0, X=Y=0$ を含む)からなるp層とを有する窒素-3属元素化合物半導体発光素子において、

前記p層に接合する電極をニッケル(Ni)としたことを特徴とする発光素子。

【請求項2】 前記電極が接合されるp層の正孔濃度は $1 \times 10^{19}/cm^3$ 以上であることを特徴とする請求項1に記載の発光素子。

【請求項3】 前記p層はキャリア濃度の異なる複数の層で形成されており、前記電極が接合されるp層の正孔濃度は $1 \times 10^{19}/cm^3$ 以上であることを特徴とする請求項1に記載の発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は青色発光の窒素-3属元素化合物半導体発光素子に関する。

【0002】

【従来技術】 従来、青色の発光ダイオードとしてGa系化合物半導体を用いたものが知られている。そのGa系化合物半導体は直接遷移型であることから発光効率が高いこと、光の3原色の1つである青色を発光色とすること等から注目されている。

【0003】 最近、Ga系発光ダイオードにおいても、Mgを添加して電子線を照射することによりp型のGa系が得られることが明らかとなった。この結果、従来のn層と半絶縁層(i層)との接合に代えてpn接合を有するGa系発光ダイオードが提案されている。この発光ダイオードの電極は、n層がアルミニウム(Al)、p層が金(Au)である。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、上記のpn接合を有する発光ダイオードであっても、発光輝度は未だ十分ではなく、また、駆動電圧も高い。そこで、本発明の目的は、窒素-3属元素化合物半導体( $Al_xGa_{1-x}In_{1-x-v}N$ ;  $x=0, Y=0, X=Y=0$ を含む)発光ダイオードの発光輝度を向上させること及び駆動電圧を低下させることである。

【0005】

【課題を解決するための手段】 本発明は、n型の窒素-3属元素化合物半導体( $Al_xGa_{1-x}In_{1-x-v}N$ ;  $x=0, Y=0, X=Y=0$ を含む)からなるn層と、p型の窒素-3属元素化合物半導体( $Al_xGa_{1-x}In_{1-x-v}N$ ;  $x=0, Y=0, X=Y=0$ を含む)からなるp層とを有する窒化ガリウム系化合物半導体発光素子において、p層に接合する電極をニッケル(Ni)とすることを特徴とする。

【0006】 又、他の特徴は、p層はキャリア濃度の異なる複数の層で形成されており、電極が接合されるp層の正孔濃度は $1 \times 10^{19}/cm^3$ 以上であることを特徴とする

2

る。

【0007】

【発明の作用及び効果】 本発明は、p層及びn層を有する窒素-3属元素化合物半導体( $Al_xGa_{1-x}In_{1-x-v}N$ ;  $x=0, Y=0, X=Y=0$ を含む)発光素子において、p層に接合する電極をニッケル(Ni)とすることにより、駆動電圧が低下した。又、駆動電圧の低下により同一電圧では注入電流を大きくとることができ、発光輝度が向上した。

【0008】 さらに、ニッケルを接合するp層の正孔濃度を $1 \times 10^{19}/cm^3$ 以上としたので、良好なオーミック特性を得ることができる。

【0009】

【実施例】

第1実施例

図1において、発光ダイオード10は、サファイア基板1を有しており、そのサファイア基板1に500ÅのAlNのパッファ層2が形成されている。そのパッファ層2の上には、順に、膜厚約2.2μm、電子濃度 $2 \times 10^{18}/cm^3$ のシリコン添加Ga系から成る高キャリア濃度n層3、膜厚約1.5μm、電子濃度 $1 \times 10^{18}/cm^3$ の無添加Ga系から成る低キャリア濃度n層4が形成されている。更に、低キャリア濃度n層4の上には、順に、膜厚約0.5μm、正孔濃度 $1 \times 10^{19}/cm^3$ のマグネシウム(Mg)添加Ga系から成る低キャリア濃度p層51、膜厚約0.2μm、正孔濃度 $2 \times 10^{17}/cm^3$ の高キャリア濃度p層52が形成されている。そして、高キャリア濃度p層52に接続するニッケルで形成された電極7と高キャリア濃度n層3に接続するニッケルで形成された電極8とが形成されている。電極8と電極7とは、溝9により電氣的に絶縁分離されている。

【0010】 次に、この構造の発光ダイオード10の製造方法について説明する。上記発光ダイオード10は、有機金属化合物気相成長法(以下「MOVPE」と記す)による気相成長により製造された。用いられたガスは、NH<sub>3</sub>とキャリアガスH<sub>2</sub>とトリメチルガリウム(Ga(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>) (以下「TMG」と記す)とトリメチルアルミニウム(Al(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>) (以下「TMA」と記す)とシラン(SiH<sub>4</sub>)とビスシクロペンタジエニルマグネシウム(Mg(C<sub>5</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>) (以下「CPzMg」と記す)である。

【0011】 まず、有機洗浄及び熱処理により洗浄したa面を主面とする単結晶のサファイア基板1をMOVPE装置の反応室に載置されたサセプタに装着する。次に、常圧でH<sub>2</sub>を流速2 liter/分で反応室に流しながら温度1100℃でサファイア基板1を気相エッチングした。

【0012】 次に、温度を400℃まで低下させて、H<sub>2</sub>を20 liter/分、NH<sub>3</sub>を10 liter/分、TMAを $1.8 \times 10^{-5}$ モル/分で供給してAlNのパッファ層2が約500Åの厚さに形成された。次に、サファイア基板1の温度を1150℃に保持し、H<sub>2</sub>を20 liter/分、NH<sub>3</sub>を10 liter/分、TMGを $1.7 \times 10^{-4}$ モル/分、H<sub>2</sub>で0.86ppmまで希釈した

3

シラン( $\text{SiH}_4$ )を 200 milliliter /分の割合で30分間供給し、膜厚約  $2.2\mu\text{m}$ 、電子濃度  $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$  のGaN から成る高キャリア濃度  $n^+$  層3を形成した。

【0013】続いて、サファイア基板1の温度を1150℃に保持し、 $\text{H}_2$ を20 liter/分、 $\text{NH}_3$ を10 liter/分、TMGを  $1.7 \times 10^{-4}$ モル/分の割合で20分間供給し、膜厚約  $1.5\mu\text{m}$ 、電子濃度  $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$  のGaN から成る低キャリア濃度  $n$  層4を形成した。

【0014】次に、サファイア基板1を1150℃に保持して、 $\text{H}_2$ を20 liter/分、 $\text{NH}_3$ を10liter/分、TMGを  $1.7 \times 10^{-4}$ モル/分、 $\text{CPMg}$ を  $2 \times 10^{-7}$ モル/分の割合で7分間供給して、膜厚  $0.5\mu\text{m}$  のGaN から成る低キャリア濃度  $p$  層51を形成した。この状態では、低キャリア濃度  $p$  層51は、まだ、抵抗率  $10^8 \Omega\text{cm}$  以上の絶縁体である。

【0015】次に、サファイア基板1を1150℃に保持したまま、 $\text{H}_2$ を20 liter/分、 $\text{NH}_3$ を10 liter/分、TMGを  $1.7 \times 10^{-4}$ モル/分、 $\text{CPMg}$ を  $3 \times 10^{-8}$ モル/分の割合で3分間供給して、膜厚  $0.2\mu\text{m}$  のGaN から成る高キャリア濃度  $p^+$  層52を形成した。この状態では、高キャリア濃度  $p^+$  層52は、まだ、抵抗率  $10^8 \Omega\text{cm}$  以上の絶縁体である。

【0016】次に、反射電子線回折装置を用いて、上記の高キャリア濃度  $p^+$  層52及び低キャリア濃度  $p$  層51に様に電子線を照射した。電子線の照射条件は、加速電圧10KV、試料電流  $1\mu\text{A}$ 、ビームの移動速度  $0.2\text{mm/sec}$ 、ビーム径  $60\mu\text{m}$ 、真空度  $2.1 \times 10^{-8}\text{Torr}$  である。この電子線の照射により、低キャリア濃度  $p$  層51は、正孔濃度  $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 、抵抗率  $40\Omega\text{cm}$  の  $p$  伝導型半導体となり、高キャリア濃度  $p^+$  層52は、正孔濃度  $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、抵抗率  $2\Omega\text{cm}$  の  $p$  伝導型半導体となった。このようにして、図2に示すような多層構造のウエハが得られた。

【0017】以下に述べられる図3から図7は、ウエハ上の1つの素子のみを示す断面図であり、実際は、同一構造の素子が連続的に形成されているウエハについて、処理が行われ、その後、そのウエハは各素子毎に切断される。

【0018】図3に示すように、高キャリア濃度  $p^+$  層52の上に、スパッタリングにより  $\text{SiO}_2$  層11を2000Åの厚さに形成した。次に、その  $\text{SiO}_2$  層11上にフォトリソレジスト12を塗布した。そして、フォトリソグラフにより、高キャリア濃度  $p^+$  層52上において、高キャリア濃度  $n^+$  層3に至るように形成される孔15に対応する電極形成部位Aとその電極形成部を高キャリア濃度  $p^+$  層52の電極と絶縁分離する溝9を形成する部位Bのフォトリソレジストを除去した。

【0019】次に、図4に示すように、フォトリソレジスト12によって覆われていない  $\text{SiO}_2$  層11をフッ化水素酸系エッチング液で除去した。次に、図5に示すように、50

4

フォトリソレジスト12及び  $\text{SiO}_2$  層11によって覆われていない部位の高キャリア濃度  $p^+$  層52とその下の低キャリア濃度  $p$  層51、低キャリア濃度  $n$  層4、高キャリア濃度  $n^+$  層3の上面一部を、真空度  $0.04\text{Torr}$ 、高周波電力  $0.44\text{W}/\text{cm}^2$ 、 $\text{BCl}_3$  ガスを10 milliliter/分の割合で供給しドライエッチングした後、Arでドライエッチングした。この工程で、高キャリア濃度  $n^+$  層3に対する電極取出しのための孔15と絶縁分離のための溝9が形成された。

【0020】次に、図6に示すように、高キャリア濃度  $p^+$  層52上に残っている  $\text{SiO}_2$  層11をフッ化水素酸で除去した。次に、図7に示すように、試料の上全面に、ニッケル層13を蒸着により形成した。これにより、孔15には、高キャリア濃度  $n^+$  層3に電気的に接続されたニッケル層13が形成される。そして、そのニッケル層13の上にフォトリソレジスト14を塗布して、フォトリソグラフにより、そのフォトリソレジスト14が高キャリア濃度  $n^+$  層3及び高キャリア濃度  $p^+$  層52に対する電極部が残るように、所定形状にパターン形成した。

【0021】次に、図7に示すようにそのフォトリソレジスト14をマスクとして下層のニッケル層13の露出部を硝酸系エッチング液でエッチングした。この時、絶縁のための溝9に蒸着されたニッケル層13は、完全に除去される。次に、フォトリソレジスト14をアセトンで除去し、高キャリア濃度  $n^+$  層3の電極8、高キャリア濃度  $p^+$  層52の電極7が残された。その後、上記の如く処理されたウエハは、各素子毎に切断され、図1に示す  $p-n$  構造の窒化ガリウム系発光素子を得た。

【0022】また、この発光ダイオード10に印加する電圧Vと流れる電流Iとの関係を測定した。その結果を図8に示す。又、比較のためにアルミニウムで電極を形成した場合のV-I特性の測定結果を図9に示す。駆動しきい値電圧は7Vから3Vに低下した。

【0023】このようにして製造された発光ダイオード10の駆動電流20mAにおける発光強度を測定したところ10mcdであり、この発光輝度は、従来の  $p-n$  接合のGaN発光ダイオードの発光輝度に比べて2倍であった。又、素子寿命は、 $10^4$ 時間であり、従来の  $p-n$  接合のGaN発光ダイオードの素子寿命に比べて1.5倍であった。

【0024】尚、上記実施例で用いたマグネシウム(Mg)のドーピングガスは、上述のガスの他、メチルシクロペンタジエニルマグネシウム  $\text{Mg}(\text{C}_5\text{H}_7)_2$  を用いても良い。また、上記の  $p$  層を図10に示すように1層に形成しても良い。その場合には  $p$  層5の正孔濃度は  $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$  である。又、 $p$  層52に対する電極7のみニッケルとし、高キャリア濃度  $n^+$  層3に対する電極8はアルミニウムとしても良い。

【0025】又、上記低キャリア濃度  $p$  層51の正孔濃度は  $1 \times 10^{14}/\text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$  で膜厚は  $0.2 \sim 1\mu\text{m}$  が望ましい。正孔濃度が  $1 \times 10^{14}/\text{cm}^3$  以下となる

と、直列抵抗が高くなり過ぎるので望ましくなく、正孔濃度が $i \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 以上となると、低キャリア濃度 $n$ 層4とのマッチングが悪くなり発光効率が低下するので望ましくない。又、膜厚が $1\mu\text{m}$ 以上となると直列抵抗が高くなるので望ましくなく、 $0.2\mu\text{m}$ 以下となると発光輝度が低下するので望ましくない。

【0026】更に、高キャリア濃度 $p^-$ 層52の正孔濃度は $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 以上で膜厚は $0.1 \sim 0.5\mu\text{m}$ が望ましい。正孔濃度が $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ より小さくなると、直列抵抗が高くなるので望ましくない。又、膜厚が $0.5\mu\text{m}$ 以上となると、直列抵抗が高くなるので望ましくなく、膜厚が $0.1\mu\text{m}$ 以下となると、正孔の注入効率が減少するので望ましくない。

#### 【0027】第2実施例

図11において、発光ダイオード10は、サファイア基板1を有しており、そのサファイア基板1に500ÅのAlNのバッファ層2が形成されている。そのバッファ層2の上には、順に、膜厚約 $2.2\mu\text{m}$ 、電子濃度 $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のシリコン添加Ga $n$ から成る高キャリア濃度 $n^-$ 層3、膜厚約 $1.5\mu\text{m}$ 、電子濃度 $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ の無添加Ga $n$ から成る低キャリア濃度 $n$ 層4が形成されている。更に、低キャリア濃度 $n$ 層4の上には、順に、膜厚約 $0.2\mu\text{m}$ 、 $\text{Mg}$ 濃度 $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ の $\text{Mg}$ 添加Ga $n$ から成る低不純物濃度 $i$ 層61、膜厚約 $0.5\mu\text{m}$ 、 $\text{Mg}$ 濃度 $2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ の高不純物濃度 $i^-$ 層62が形成されている。

【0028】そして、その低不純物濃度 $i$ 層61及び高不純物濃度 $i^-$ 層62の所定領域には、それぞれ、電子線照射により $p$ 伝導型化した正孔濃度 $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ の低キャリア濃度 $p$ 層501、正孔濃度 $4 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ の高キャリア濃度 $p^-$ 層502が形成されている。

【0029】又、高不純物濃度 $i^-$ 層62の上面からは、高不純物濃度 $i^-$ 層62、低不純物濃度 $i$ 層61、低キャリア濃度 $n$ 層4を貫通して高キャリア濃度 $n^-$ 層3に至る孔15が形成されている。その孔15を通過して高キャリア濃度 $n^-$ 層3に接合されたニッケルで形成された電極81が高不純物濃度 $i^-$ 層62上に形成されている。又、高キャリア濃度 $p^-$ 層502の上面には、高キャリア濃度 $p^-$ 層502に対するニッケルで形成された電極71が形成されている。高キャリア濃度 $n^-$ 層3に対する電極81は、高キャリア濃度 $p^-$ 層502及び低キャリア濃度 $p$ 層501に対して高不純物濃度 $i^-$ 層62及び低不純物濃度 $i$ 層61により絶縁分離されている。

【0030】次に、この構造の発光ダイオード10の製造方法について説明する。製造工程を示す図12から図17は、ウエハにおける1素子のみに関する断面図であり、実際には図に示す素子が繰り返し形成されたウエハに関して次の製造処理が行われる。そして、最後に、ウエハが切断されて各発光素子が形成される。

【0031】第1実施例と同様にして、図12に示すウ

エハを製造する。次に、図13に示すように、高不純物濃度 $i^-$ 層62の上に、スパッタリングにより $\text{SiO}_2$ 層11を $2000\text{\AA}$ の厚さに形成した。次に、その $\text{SiO}_2$ 層11上にフォトリソグラフにより、高不純物濃度 $i^-$ 層62において低キャリア濃度 $n$ 層4に至るように形成される孔15に対応する電極形成部位Aのフォトリソグラフを除去した。

【0032】次に、図14に示すように、フォトリソグラフ12によって覆われていない $\text{SiO}_2$ 層11をフッ化水素酸系エッチング液で除去した。次に、図15に示すように、フォトリソグラフ12及び $\text{SiO}_2$ 層11によって覆われていない部位の高不純物濃度 $i^-$ 層62とその下の低不純物濃度 $i$ 層61と低キャリア濃度 $n$ 層4と高キャリア濃度 $n^-$ 層3の上面一部を、真空度 $0.04\text{Torr}$ 、高周波電力 $0.44\text{W}/\text{cm}^2$ 、 $\text{BCl}_3$ ガスを $10\text{ milliliter/分}$ の割合で供給しドライエッチングした後、 $\text{Ar}$ でドライエッチングした。この工程で、高キャリア濃度 $n^-$ 層3に対する電極取出しのための孔15が形成された。次に、図16に示すように、高不純物濃度 $i^-$ 層62上に残っている $\text{SiO}_2$ 層11をフッ化水素酸で除去した。

【0033】次に、図17に示すように、高不純物濃度 $i^-$ 層62及び低不純物濃度 $i$ 層61の所定領域にのみ、反射電子線回折装置を用いて電子線を照射して、それぞれ $p$ 伝導型を示す正孔濃度 $4 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ の高キャリア濃度 $p^-$ 層502、正孔濃度 $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ の低キャリア濃度 $p$ 層501が形成された。

【0034】電子線の照射条件は、加速電圧 $10\text{KV}$ 、試料電流 $1\mu\text{A}$ 、ビームの移動速度 $0.2\text{mm/sec}$ 、ビーム径 $60\mu\text{m}$ 、真空度 $2.1 \times 10^{-5}\text{Torr}$ である。この時、高キャリア濃度 $p^-$ 層502及び低キャリア濃度 $p$ 層501以外の部分、即ち、電子線の照射されなかった部分は、絶縁体の高不純物濃度 $i^-$ 層62及び低不純物濃度 $i$ 層61のままである。従って、高キャリア濃度 $p^-$ 層502及び低キャリア濃度 $p$ 層501は、縦方向に対しては、低キャリア濃度 $n$ 層4に導通するが、横方向には、周囲に対して、高不純物濃度 $i^-$ 層62及び低不純物濃度 $i$ 層61により電気的に絶縁分離されている。

【0035】次に、図18に示すように、高キャリア濃度 $p^-$ 層502と、高不純物濃度 $i^-$ 層62と、高不純物濃度 $i^-$ 層62の上面と孔15を通過して高キャリア濃度 $n^-$ 層3とに、ニッケル層20が蒸着により形成された。そして、そのニッケル層20の上にフォトリソグラフ21を塗布して、フォトリソグラフにより、そのフォトリソグラフ21が高キャリア濃度 $n^-$ 層3及び高キャリア濃度 $p^-$ 層502に対する電極部が残るように、所定形状にパターン形成した。次に、そのフォトリソグラフ21をマスクとして下層のニッケル層20の露出部を硝酸系エッチング液でエッチングし、フォトリソグラフ21をアセトンで除去した。このようにして、図11に示すように、高キャリア濃度 $n^-$ 層3の電極81、高キャリア濃

7

度 $p^+$ 層502の電極71を形成した。その後、上述のように形成されたウエハが各素子毎に切断された。

【0036】このようにして製造された発光ダイオード10のV-I特性を測定したところ、図8と同様な特性が得られた。駆動電圧は3Vであった。又、発光強度を測定したところ、第1実施例と同様に、10mcdであり、素子寿命は $10^4$ 時間であった。

#### 【0037】第3実施例

図1に示す構造の第1実施例の発光ダイオードにおいて、高キャリア濃度 $n^-$ 層3、低キャリア濃度 $n$ 層4、低キャリア濃度 $p$ 層51、高キャリア濃度 $p^+$ 層52を、それぞれ、 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{In}_{0.3}\text{N}$ とした。高キャリア濃度 $n^-$ 層3は、シリコンを添加して電子濃度 $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ に形成し、低キャリア濃度 $n$ 層4は不純物無添加で電子濃度 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ に形成した。低キャリア濃度 $p$ 層51はマグネシウム(Mg)を添加して電子線を照射して正孔濃度 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ に形成し、高キャリア濃度 $p^+$ 層52は同じくマグネシウム(Mg)を添加して電子線を照射して正孔濃度 $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ に形成した。そして、高キャリア濃度 $p^+$ 層52に接続するニッケルで形成された電極7と高キャリア濃度 $n^-$ 層3に接続するニッケルで形成された電極8とを形成した。

【0038】次に、この構造の発光ダイオード10も第1実施例の発光ダイオードと同様に製造することができる。トリメチルインジウム( $\text{In}(\text{CH}_3)_3$ )がTMG、TMA、シラン、 $\text{CP}^*\text{Mg}$ ガスに加えて使用された。生成温度、ガス流量は第1実施例と同じである。トリメチルインジウムを $1.7 \times 10^{-4}$ モル/分で供給することを除いて他のガスの流量は第1実施例と同一である。

【0039】次に、第1実施例と同様に、反射電子線回折装置を用いて、上記の高キャリア濃度 $p^+$ 層52及び低キャリア濃度 $p$ 層51に一様に電子線を照射して $p$ 伝導型半導体を得ることができた。

【0040】次に、第1実施例と同様に、高キャリア濃度 $n^-$ 層3及び高キャリア濃度 $p^+$ 層52に対するニッケルで形成された電極7、8を形成した。

【0041】また、この発光ダイオード10に印加する電圧Vと流れる電流Iとの関係を測定した。アルミニウムで電極を形成した場合に比べて、第1実施例と同様に、駆動しきい値電圧は7Vから3Vに低下した。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の具体的な第1実施例に係る発光ダイオードの構成を示した構成図。

【図2】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

8

【図3】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図4】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図5】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図6】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図7】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図8】同実施例の発光ダイオードの電圧-電流特性の測定図。

【図9】従来のアルミニウム電極を用いた発光ダイオードの電圧-電流特性の測定図。

【図10】第1実施例の変形例にかかる発光ダイオードの構成を示した構成図。

【図11】本発明の具体的な第2実施例に係る発光ダイオードの構成を示した構成図。

【図12】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図13】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図14】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図15】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図16】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

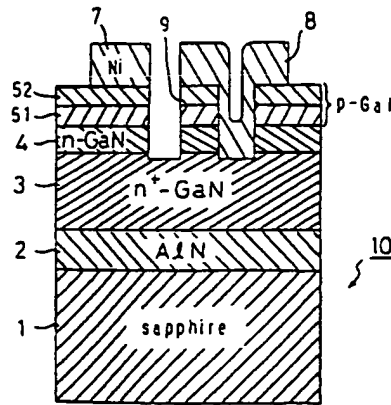
【図17】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図18】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

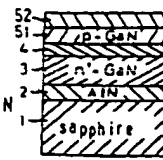
#### 【符号の説明】

- 10…発光ダイオード
- 1…サファイア基板
- 2…バッファ層
- 3…高キャリア濃度 $n^-$ 層
- 4…低キャリア濃度 $n$ 層
- 51, 501…低キャリア濃度 $p$ 層
- 52, 502…高キャリア濃度 $p^+$ 層
- 61…低不純物濃度 $i$ 層
- 62…高不純物濃度 $i^-$ 層
- 7, 8, 71, 81…電極
- 9…溝

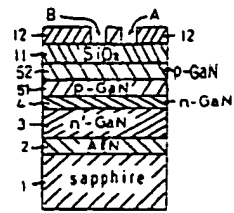
【図1】



【図2】

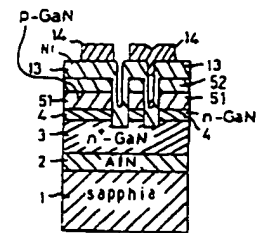
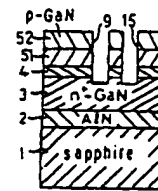


【図3】



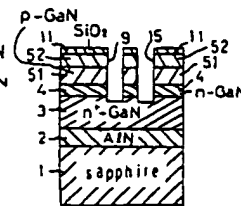
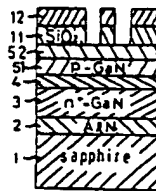
【図6】

【図7】

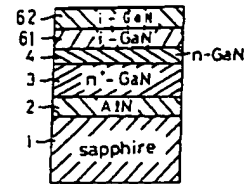


【図4】

【図5】

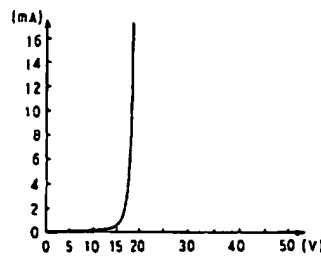
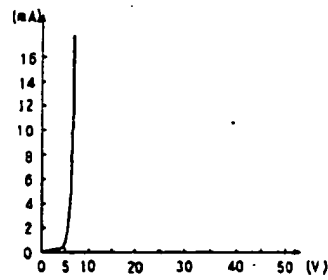


【図12】

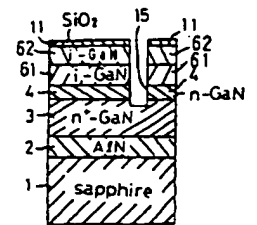


【図8】

【図9】



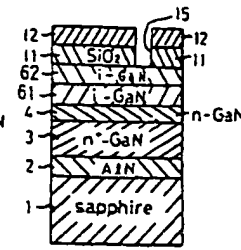
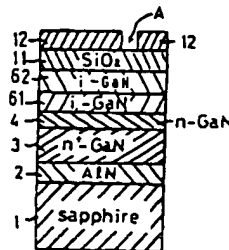
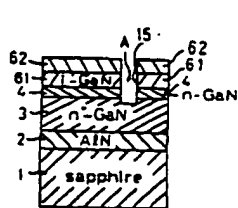
【図15】



【図16】

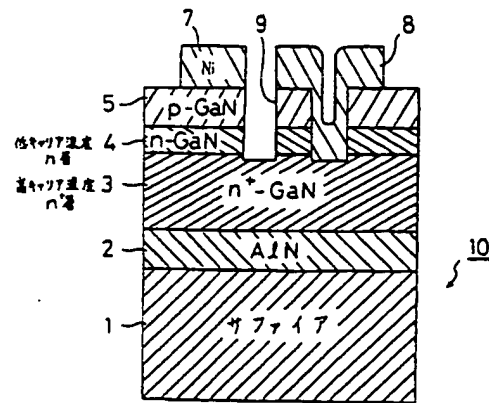
【図13】

【図14】

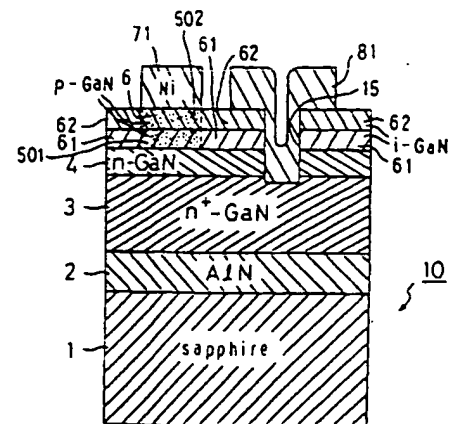




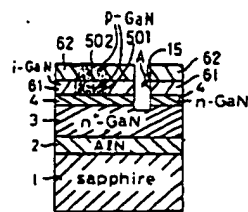
【図10】



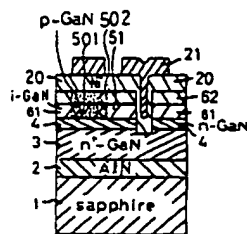
【図11】



【図17】



【図18】



フロントページの続き

- (72)発明者 真部 勝英  
愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1  
番地 豊田合成株式会社内
- (72)発明者 小滝 正宏  
愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1  
番地 豊田合成株式会社内
- (72)発明者 加藤 久喜  
愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1  
番地 豊田合成株式会社内

- (72)発明者 田牧 真人  
愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1  
番地 豊田合成株式会社内
- (72)発明者 赤崎 勇  
愛知県名古屋市区西区浄心1丁目1番38-  
805
- (72)発明者 天野 浩  
愛知県名古屋市区東区神丘町二丁目21 虹  
ヶ丘東団地19号棟103号室